

ふっ素樹脂製品の樹脂流動CAE ～ PFA材ガスアシスト成形～

研究開発本部 試験解析室 CAE課

菅 井 洋 人
今 井 章 博
隈 元 健

高機能製品事業本部 樹脂技術開発部 設計一課

1. はじめに

2015年9月の国連サミットでSDGsが採択された。その目標12「つくる責任、つかう責任」において、製造メーカーは産業廃棄物の管理や資源の有効活用に関する取り組みを求められており、ニチアスグループ全体では2021年度より、新製品開発、設計変更時に、製品環境アセスメントの実施を義務付けている。また、2022年度より中期環境目標として掲げた『産業廃棄物排出量を2030年度までに2019年度比で30%削減』に向けて活動している。

廃棄物削減手段として設計開発時の試作回数削減や製造工程での歩留向上があげられる。これらは形状検討や製造性検討にCAE（Computer Aided Engineering, 計算支援工学）を利用し、最適な設計を行うことで効率的に検討できる。当社ではふっ素樹脂射出成形品にCAEを活用することで、廃棄物の削減や資源の有効活用を行っている。

当社では半導体製造装置向け、OA（Office Automation）機器向け、医療機器向けにふっ素樹脂であるPFA（パーフルオロアルコキシアルカン）を原料とした射出成形品を製造販売している（図1）。この製品では肉厚の厚い部位（以下、厚肉部位）が存在すると成形不良が生じることがあり、それを解決する手法の1つにガスアシスト成形がある（2章参照）。ガスアシスト成形は厚肉部位の成形不良を回避できる一方、製造条件が複雑化するという問題がある。本稿では、この問題に取り組んだPFA材ガスアシスト成形と樹脂流動解析の事例を紹介する。

2. ふっ素樹脂 射出成形

2.1 射出成形の課題

射出成形品の形状は、使用部位や周辺部品とのレイアウト上の制約で、さまざまな肉厚が存在する。このうち厚肉部位や厚みの変化が大きい部位の場合、射出成形品特有のヒケ、ポイドといった成形不良が発生することがある。

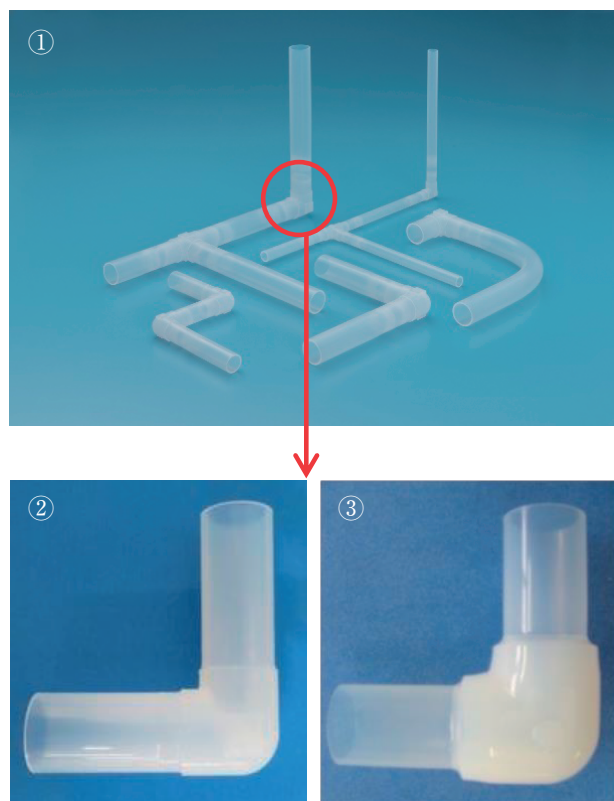


図1 ナフロン®製品
① TOMBO™ No.9023 [ナフロン® 溶着チューブ]
② TOMBO™ No.9021 [ナフロン® 射出成型品] (普通継手)
③ TOMBO™ No.9021 [ナフロン® 射出成型品] (厚肉継手)

ヒケとは、製品表面が凹む成形不良のことで、厚肉部位に発生しやすい（図2）。成形直後の厚肉部位では、表層の方が早く冷却され、固化が進む。内部の冷却が進むに従い収縮も大きくなり表層面が内部へ引張られヒケと呼ばれる凹みが発生する（図3）。

ボイドとは内部に発生する空隙のことで、ヒケの挙動に関連している。表層は固化して拘束されるため内部へ収縮しようとする挙動に追従できず、収縮しようとする内部と表層との境界部でボイドと呼ばれる空隙が発生することがある（図3）。

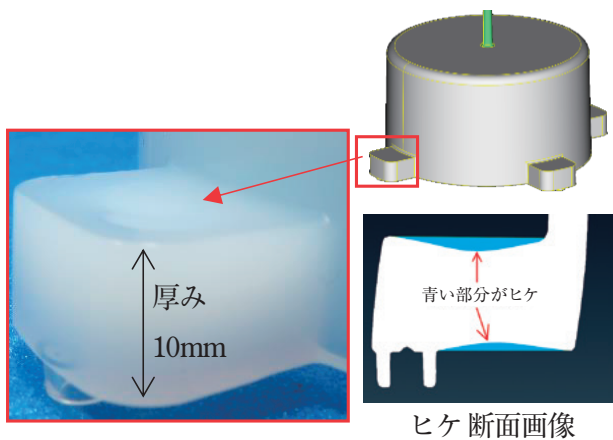


図2 ヒケが発生した厚肉部位（赤矢印先端部）とその断面

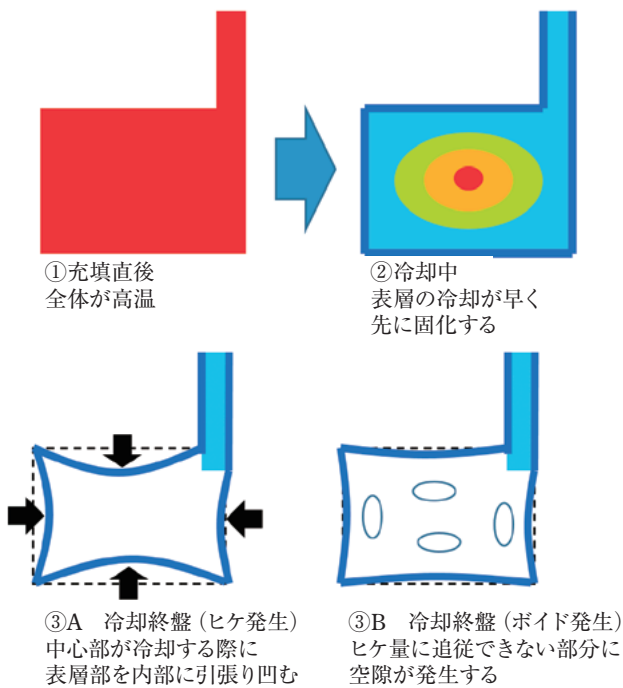


図3 ヒケとボイドの発生原因

PFAは、他の樹脂に比べ融点が高いため成形温度も高く、ヒケやボイドが発生しやすい。そのため、PFAを使用する場合には、ヒケとボイドの問題を解決する必要がある。

2.2 ガスアシスト成形

前述した厚肉部位のヒケやボイドの問題を解決できる射出成形方法の一つに「ガスアシスト成形」があり、樹脂充填時または充填終了時に、厚肉部位に対して圧縮ガスを注入することで内部が空洞化される。これにより厚肉部位は薄肉化することで内部領域の体積が減少するため、冷却収縮時に表層面を内部に引張る力が低下する。この結果ヒケは小さくなりボイドは発生しなくなる。薄肉化のイメージを図4に示す。

ガスアシスト成形では、注入ガスの位置、数、時間、圧力、温度など制御因子があり、成形条件が通常の成形法と比べ複雑になる。このため、樹脂流動CAEで製造条件を効率的に検討することが期待されている。さらにPFAにおいては、最適条件構築の参考にできるデータはほとんど公開されていないのが実情である。

そこでPFAについて製造技術、CAE解析技術双方の技術開発を行った。本CAE解析では、実機の物理現象を正しくモデル化するとともに、PFA向けにパラメータを調整した。次章では、開発したCAE解析技術を用いてガスアシスト成形のヒケ低減に対する有効性検証を行った事例について紹介する。

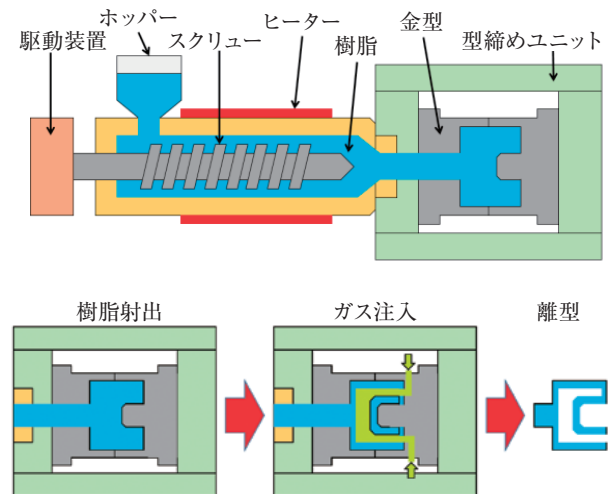


図4 ガスアシスト成形による薄肉化

3. ガスアシストCAE解析の概要

3.1 検証モデル

製品にみられる厚肉部位や急激な寸法変化といった特徴を備えたカップ形状を検証モデルに採用した(図5～図10)。この検証モデルについて、ガスアシスト有無で試作とCAE解析を行いガスアシスト成形の効果とヒケの予測精度を確認した。

3.2 成形条件

検証モデルの成形条件を表1に、ガス注入条件の設定例を図11に示す。試作とCAE解析はともに同一の成形条件を用いた。

表1 成形条件

ガスアシスト	無	有
樹脂設定温度	395℃	395℃
金型設定温度	180℃	180℃
ガス注入	開始時刻	樹脂100%充填後
	数	—
	時間, 圧力	図11参照
	温度	30℃
CAE解析モデル	同一モデルを使用	

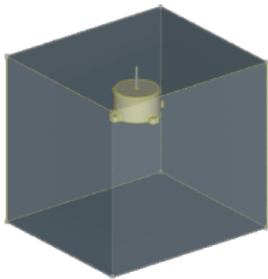


図5 解析モデル全体
(金型内の検証モデル)

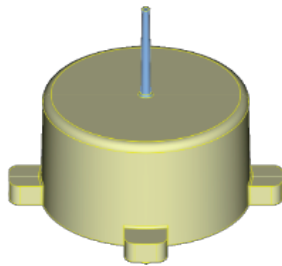


図6 外観

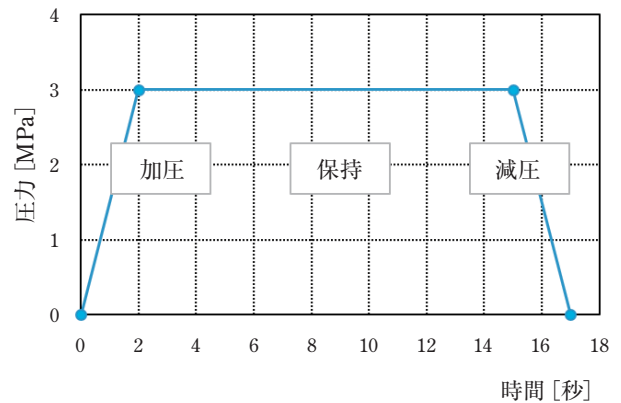


図11 ガス注入条件の設定例

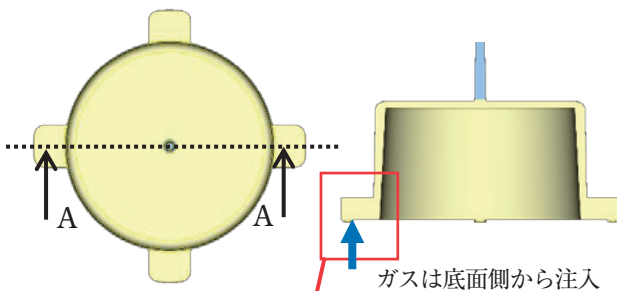


図7 上面図

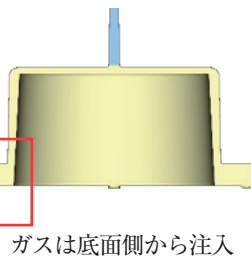


図8 A-A断面



図9 厚肉部位拡大
注入ガスのイメージ

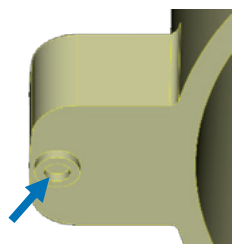


図10 ガス注入部
底面からの視点

4. 結 果

図12にガスを注入した厚肉部位の断面図を示す。図12左側はCAE解析結果, 中央と右側はX線CTで撮影した試作品の断面図である。図12(a)はCAE解析結果のガス注入形状で, 図12(c)のガスアシスト有の空洞部の形状と比較すると, ガス注入形状が似た形状となっていた。図12(b)がガスアシスト無, 図12(c)がガスアシスト有の断面形状である。(b), (c)を比較すると, ガスアシスト無の厚肉部位上面と下面でそれぞれ発生しているヒケはガスアシスト有では改善されていることがわかる。

図15は図13, 14で示すガスアシスト効果の算出方法について説明している。検証には厚肉部位上面の凹み形状を用いてガスアシストの効果を確認した。ガスアシスト無で成形した場合に発生するヒケがガスアシストすることでどの程度改善したのか比率で求めることとし, その算出方法を示した。

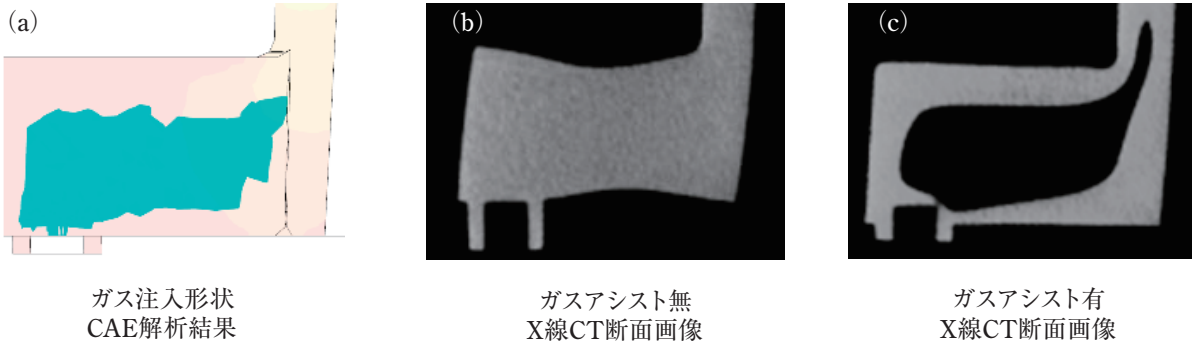


図12 ガス注入部断面図

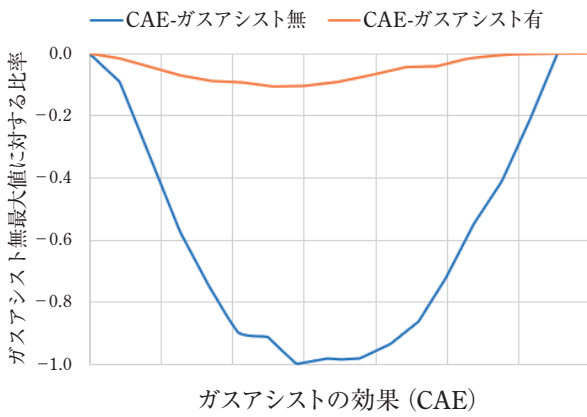


図13 ガスアシストの効果 (CAE)

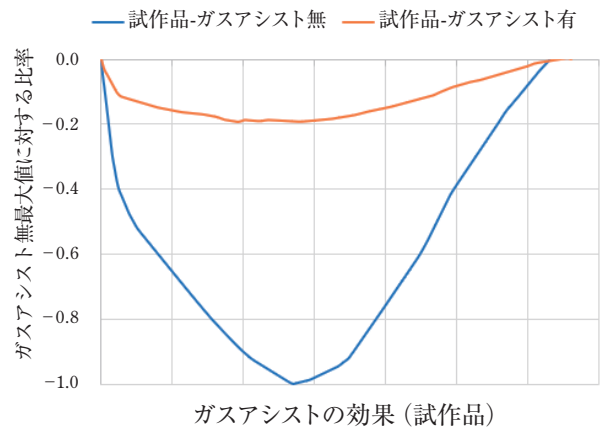
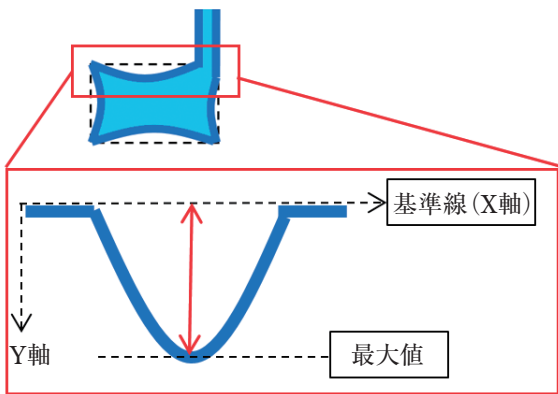


図14 ガスアシストの効果 (実測)



- ①ヒケ両端の水平部に直線を引き基準線 (X軸) とする。
- ②基準線から垂直方向 (Y軸) に垂線を引き、表面までの距離をヒケ量とした。
- ③ガスアシスト有無でそれぞれヒケ量を求めた。
- ④ガスアシストの効果は比率で確認した。
- ⑤ガスアシスト無のヒケ量最大値を基準値とし、求めたヒケ量の基準値に対する比率を算出した。
- ⑥①～⑤までを実測, CAEで実施した。

図15 ヒケ改善率算出方法

図13はCAE解析, 図14は実測の結果であり, 検証モデルに4か所ある厚肉部位から代表した1か所のヒケ改善率について示したグラフとなっている。ヒケが最大となった位置の改善率について4か所の平均を求めたところ, 試作品ではヒケが85%低減したのに対して, CAE解析による予測値では90%低減となっており, CAE解析は定量的にヒケの抑制効果をほぼ予測できたといえる。

5. おわりに

本稿では、PFA材ガスアシスト成形の樹脂流動CAE解析の有効性を示した。この手法を設計開発に活用することで製造条件の最適化が可能となった。今後もCAE解析の精度向上の研究を継続的に行うことで、当社ふっ素樹脂製品の品質や製造性向上に寄与し、試作回数の低減や樹脂使用量の低減により廃棄物の削減や資源の有効活用に貢献していく所存である。

- *「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。
- *「ナフロン」はニチアス(株)の登録商標です。
- *本稿のデータは参考値であり、保証値ではありません。

筆者紹介



菅井 洋人

研究開発本部 試験解析室 CAE 課



今井 章博

研究開発本部 試験解析室 CAE 課



隈元 健

高機能製品事業本部
樹脂技術開発部
設計一課

ニチアスの半導体市場向け製品

「断つ・保つ」[®] 技術で ITの発展を支えます。

5G、AI、自動運転… ITの進化を支える半導体製造装置を
ニチアスの半導体市場向け製品が支えています。

- 薬液移送・貯蔵関連製品**
 - 高純度薬液移送用チューブ
ナフロン[®] PFA-UGチューブ
 - ビードレス配管部品
ナフロン[®] 溶着チューブ
 - ふっ素樹脂製薬液貯蔵槽
ナフロン[®] PTFE角槽
 - ふっ素樹脂製薬液貯蔵タンク
ナフロン[®] タンクライニング
- 配管シール関連製品**
 - シール材
ブレイザー[®] ネクスト
ブレイザー[®] Oリング-A
- その他関連製品**
 - 配管加熱・保温用ジャケットヒータ
プレノ[®] ヒータ
 - 低濃度ガス除去用ケミカルフィルター
ケミカルガード[®]

※®が付されている名称はニチアス(株)の登録商標です。